

Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО РАДИУСА МЕСТА ИЗГИБА ПРИ ФОРМОВКЕ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Возросшая потребность в качественных гнутых профилях из сталей различных марок свидетельствует о необходимости обеспечения правильной оценки прочностных и пластических свойств материала. Вопрос о разрушении материала в процессе профилирования, то есть в первую очередь о минимальных допустимых (критических) радиусах изгиба, решали, базируясь на показателях относительного удлинения материалов. В дальнейшем было доказано, что более правильным показателем пластичности материала следует считать относительное поперечное сужение. Исходя из указанной оценки пластичности разработаны методы определения минимально допустимых радиусов изгиба. Но, так как относительное поперечное сужение при одноосном растяжении не равно при двuosном растяжении (что имеет место на наружной поверхности места изгиба), необходимо ввести корректировочные коэффициенты. Методом механики сплошных сред с использованием поля скоростей перемещений определена удельная работа деформирования элементарного объема места изгиба при профилировании. Установлено, что удельная работа деформирования с уменьшением радиуса и увеличением угла изгиба возрастает. Исходя из сравнения удельной работы деформирования при изгибе с критической работой разрушения получен критический радиус разрушения, который с увеличением угла изгиба увеличивается. В работе установлено, что технологические радиусы мест изгиба должны отличаться от расчетных значений критического радиуса изгиба коэффициентом запаса прочности. Получена зависимость для определения критического радиуса мест изгиба при поштучном процессе профилирования, поскольку в этом случае имеют место наклеп и заусенцы на концах полосы.

Ключевые слова: процесс профилирования, показатель пластичности материала, относительное поперечное сужение, удельная работа деформирования, критическая работа разрушения, критический радиус места изгиба.

Ю. О. ПЛЕСНЕЦОВ, Г. М. СУЧКОВ, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО РАДІУСУ МІСЦЯ ЗГИНАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ГНУТИХ ПРОФІЛІВ

Зростаюча потреба в якісних гнутих профілях зі сталей різних марок свідчить про необхідність забезпечення правильної оцінки міцності і пластичних властивостей матеріалу. Питання про руйнування матеріалу в процесі профілювання, тобто в першу чергу про мінімальні допустимі (критичні) радіуси згинання, вирішували, базуючись на показниках відносного подовження матеріалів. В подальшому було доведено, що більш правильним показником пластичності матеріалу слід вважати відносне поперечне звуження. Виходячи із зазначеної оцінки пластичності розроблені методи визначення мініимально допустимих радіусів згинання. Але, так як відносне поперечне звуження при одноосовому розтягуванні не дорівнює при двохосовому розтягуванні (що має місце на зовнішній поверхні місця вигину), необхідно вводити коректуральні коефіцієнти. Методом механіки суцільних середовищ з використанням поля швидкостей переміщень визначена питома робота деформування елементарного обсягу місця вигину при профілюванні. Встановлено, що питома робота деформування зі зменшенням радіусу і збільшенням кута вигину зростає. Виходячи з порівняння питомої роботи деформування при згинанні з критичною роботою руйнування отримано критичний радіус руйнування, який зі збільшенням кута згинання збільшується. У роботі встановлено, що технологічні радіуси місць вигину повинні відрізнятися від розрахункових значень критичного радіусу згинання коефіцієнтом запаса міцності. Отримано залежність для визначення критичного радіусу місць згинання при поштучному процесі профілювання, оскільки в цьому випадку мають місце наклеп і задирки на кінцях смуги.

Ключові слова: процес профілювання, показник пластичності матеріалу, відносне поперечне звуження, питома робота деформування, критична робота руйнування, критичний радіус місця згинання.

Yu. A. PLESNETSOV, G. M. SUCHKOV, S. Yu. PLESNETSOV

DETERMINATION OF CRITICAL RADIUS OF THE BEND WHEN FORMING BENT PROFILES

The increased demand for high-quality bent profiles from steels of various grades indicates the need to ensure the correct assessment of the strength and plastic properties of the material. The issue of material destruction during the profiling process is defined by, first of all, the minimum allowable (critical) bending radii, based on the relative elongation of the materials. It was further proven that a relative transverse narrowing should be considered a more correct indicator of the plasticity of the material. Based on this plasticity estimate, methods have been developed for determining the minimum allowable bending radii. But, since the relative transverse narrowing in uniaxial tension is not equal to biaxial tension (which takes place on the outer surface of the bend), it is necessary to introduce correction factors. Using the method of continuum mechanics using the field of displacement velocities, the specific work of deformation of the elementary volume of the bending place during profiling was determined. It is established that the specific work of deformation increases with a decrease in radius and an increase in the bending angle. Based on a comparison of the specific work of deformation during bending with the critical work of fracture, a critical radius of fracture is obtained, which increases with increasing angle of bending. It was found in the work that the technological radii of the bending places should differ from the calculated values of the critical bending radius by the safety factor. A dependence is obtained for determining the critical radius of the bending places during the piecewise profiling process, since in this case there is hardening and burrs at the ends of the strip.

Key words: profiling process, plasticity index of material, relative transverse narrowing, work of deformation, critical work of fracture, critical radius of a bend.

Введение. Возросшая потребность в качественных профилях из сталей различных марок свидетельствует о необходимости обеспечения правильной оценки прочностных и пластических свойств материала.

Актуальность работы. Вопрос о разрушении материала в процессе профилирования, т.е. в первую очередь о минимальных допустимых (критических) радиусах изгиба, решали, базируясь на показателях относительного удлинения материалов δ_{10} . В дальнейшем было доказано [1–7], что более

правильным показателем пластичности материала следует считать относительное поперечное сужение $\psi_{\text{ш}}$. Исходя из оценки пластичности по $\psi_{\text{ш}}$ были разработаны [3–7] методы определения минимально допустимых радиусов изгиба. Но, так как $\psi_{\text{ш}}$ при одноосном растяжении не равно при двuosном растяжении [3] (что имеет место на наружной поверхности места изгиба), необходимо ввести корректировочные коэффициенты.

Цель и задачи исследования. Необходимость учета влияния схемы напряженно-деформированного состояния путем определения дополнительных коэффициентов.

Методика исследований. В работе [3] показано, что критерием разрушения материалов может быть только величина, учитывающая накопление энергии в различных точках тела. Такой величиной является удельная работа деформирования единичного объема разрывного образца до разрушения. На основании условия пластичности Губера-Мизеса этот критерий можно распространить на различные схемы напряженно-деформированного состояния.

Результаты исследований. Для определения максимальных величин удельной работы деформирования элементарного объема (заготовки) при профилировании необходимо знать величины интенсивности скоростей деформаций ε_i , деформаций e_i , а также интенсивности напряжений σ_i .

Согласно [3], поле скоростей перемещений частиц при профилировании может быть описано уравнениями:

$$\begin{aligned}\vartheta_r &= -\frac{\omega}{2\varphi_0} \left(r + \frac{\rho^2}{r} \right) - \frac{R_n(r^2 - R_b^2)\Delta s_{\max}}{2\rho r s_0} \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0}; \\ \vartheta_\varphi &= \omega \frac{\varphi}{\varphi_0} r + \frac{R_n r \Delta s_{\max}}{\rho s_0} \left(\frac{3}{8} \varphi + \frac{\varphi_0}{2\pi} \sin \frac{\pi\varphi}{\varphi_0} + \frac{\varphi_0}{16\pi} \sin \frac{2\pi\varphi}{\varphi_0} \right).\end{aligned}\quad (1)$$

Выражение для интенсивности скоростей деформации имеет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{\rho^2}{r^2} \right) + \frac{\Delta s_{\max} R_n}{\rho s_0} \left(1 + \frac{R_b^2}{r^2} \right) \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2 + \left[\frac{4R_n \varphi_0 \Delta s_{\max} (r^2 - R_b^2)}{\rho s_0 \pi r^2} \cos^3 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \sin \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2}, \quad (2)$$

где ϑ_φ и ϑ_r – проекции тангенциальной и радиальной составляющих скоростей перемещения частиц на соответствующие оси;

ω – угловая скорость поворота торца заготовок;

φ, φ_0 – текущая и конечная величина углов изгиба;

R_n и R_b – наружный и внутренний радиус изгиба;

r – текущая величина радиуса;

$\rho = \sqrt{R_n R_b}$ – радиус нейтрального слоя напряжений;

S_0 – толщина изгибаемой заготовки;

Δs_{\max} – максимальная величина абсолютного уменьшения толщины (утонения) изогнутой заготовки;

ε_i – интенсивность скоростей деформации.

При введении относительных величин, формула (2) примет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{\rho_1^2}{\bar{r}^2} \right) + \frac{\eta r_n}{\rho_1} \left(1 + \frac{r_b^2}{\bar{r}^2} \right) \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2 + \left[\frac{4r_n \varphi_0 \eta (\bar{r}^2 - r_b^2)}{\pi \rho_1 \bar{r}^2} \cos^3 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \sin \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2}, \quad (3)$$

$$E = \varepsilon_i \sigma_i. \quad (4)$$

где r_n, r_b и r – относительные величины наружного, внутреннего и текущего радиусов;

$\eta = \frac{\Delta s_{\max}}{S_0}$ относительное утонение.

Подставляя в это уравнение значение ε_i из (3), получим:

Функция диссипации энергии E определяется выражением [3]:

$$E = \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_i \sqrt{\left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{\rho_1^2}{\bar{r}^2} \right) + \frac{\eta r_n}{\rho_1} \left(1 + \frac{r_b^2}{\bar{r}^2} \right) \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2 + \left[\frac{4r_n \varphi_0 \eta (\bar{r}^2 - r_b^2)}{\pi \rho_1 \bar{r}^2} \cos^3 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \sin \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \right]^2}, \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что диссипация энергии достигает максимума на наружной и внутренней поверхностях места изгиба при $\varphi=0$.

Подставляя значение $\varphi=0$ в (5), получим:

$$E = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \sqrt{\left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{\rho_1^2}{\bar{r}^2} \right) + \frac{\eta r_n}{\rho_1} \left(1 + \frac{r_b^2}{\bar{r}^2} \right) \right]^2}. \quad (6)$$

Согласно (9) при изгибе до относительного внутреннего радиуса $r_b > 0,05$ разрушению раньше будут подвергаться волокна наружной поверхности места изгиба. Подставляя в (6) значение $\bar{r} = r_n$ и относительный радиус нейтрального слоя напряжений $\rho_1 = \sqrt{r_n r_b}$ получим выражение для диссипации энергии в наиболее опасной точке наружной поверхности:

$$E = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{r_b}{r_h} \right) + \frac{\eta \sqrt{r_h}}{\sqrt{r_b}} \left(1 + \frac{r_b^2}{r_h^2} \right) \right]. \quad (7)$$

Максимальную удельную работу деформирования элементарного объема наружной поверхности места изгиба можно получить, проинтегрировав выражение (7) по времени:

$$A_{уд} = \int_0^+ \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \left[\frac{\omega}{\varphi_0} \left(1 - \frac{r_b}{r_h} \right) + \frac{\eta \sqrt{r_h}}{\sqrt{r_b}} \left(1 + \frac{r_b^2}{r_h^2} \right) \right] dt. \quad (8)$$

В этом выражении σ_i, r_b, r_h и η взаимосвязаны и зависят от времени t . Установить эту связь в простом виде и проинтегрировать выражение (8) в общем виде не представляется возможным. Поэтому для определения величины удельной работы деформирования был применен метод приближенного вычисления.

При определении деформаций на наружной и внутренней поверхностях места изгиба [3] весь процесс изгиба до относительного внутреннего радиуса r_b был разбит на n интервалов и определено среднее значение интенсивности скоростей деформаций $\varepsilon_{i,ср}$, действующей в данном интервале, и приращение деформаций за интервал.

Согласно (8) аппроксимацию кривых $\sigma_i - \varepsilon_i$ производим степенной функцией. При этом на участке, где $e \leq 0,4$,

$$\sigma_i = B_1 e_i^m, \quad (9)$$

на участке, где $e \geq 0,4$,

$$\sigma_i = K + B_2 e_i^{m_1}, \quad (10)$$

где B_1, B_2, m, m_1 и K – константы материала.

Таблица 1 – Последовательность расчета удельной работы деформирования элементарного объема при изгибе полосы с углом $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ и относительным внутренним радиусом изгиба $r_b = 1$ для стали Ст. 3сп

Определяемая величина	при r_b							
	250	100	50	25	10	5	2	1
$\varepsilon_i, 1/\text{сек}$	0,536	0,536	0,523	0,505	0,458	0,472	0,5	0,49
e_n	0,002	0,005	0,0099	0,0194	0,0464	0,082	0,175	0,330
$\sigma_i, \text{Мн}/\text{м}^2$	188	211	273	288	388	443	530	610
$E, \text{Мн}/\text{м}^2 \text{ сек}$	0,101	0,113	0,143	0,145	0,178	0,209	0,265	0,299
$\Delta t, \text{сек}$	$\frac{1}{233,2}$	$\frac{1}{233,2}$	$\frac{1}{93,6}$	$\frac{1}{46,8}$	$\frac{1}{23,4}$	0,088	0,224	0,366
$\Delta A, \text{Мдж}/\text{м}^3$	0,42	0,73	1,53	3,1	11,4	18,4	56	106
$A, \text{Мдж}/\text{м}^8$	0,42	1,15	2,68	5,78	17,2	35,6	91,6	197,6

По уравнению (12) определено приращение работы между двумя смежными положениями. По уравнению (13) определена суммарная работа, затрачиваемая на деформирование элементарного объема при изгибе с конечным относительным внутренним радиусом r_b и углом изгиба φ_0 .

Аналогично определена максимальная удельная работа деформирования элементарного объема при изгибе полосы с углом $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ и различными относительными внутренними радиусами изгиба.

Таким образом, средняя величина диссипации энергии в каждом интервале будет:

$$E_{ср} = \varepsilon_{i,ср} \cdot \sigma_i. \quad (11)$$

Приращение работы деформирования за интервал получим, умножив диссипацию энергии на время деформирования:

$$\Delta A = E_{ср} \Delta t. \quad (12)$$

Суммарную работу, затрачиваемую на деформирование элементарного объема при изгибе полосы в валках профилигибочных станов до относительного внутреннего радиуса изгиба r_b , получим, просуммировав приращения работы в отдельных интервалах:

$$A_{сум} = \sum \Delta A. \quad (13)$$

Пример определения величины удельной работы деформирования элементарного объема при изгибе полосы с углом $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ и относительным внутренним радиусом изгиба $r_b = 1$ для стали Ст. 3сп приведены в табл. 1. Как и при определении деформаций, зафиксированы промежуточные положения при r_b , равном 250, 100, 50 и т.д. с соответствующими углами изгиба. Поскольку скорости перемещения частиц при профилировании относительно малы, можно принять $\omega = 1$. Тогда, из соотношения

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}. \quad (14)$$

получим: $\Delta \varphi = \Delta t$.

Величины максимальной удельной работы деформирования в зависимости от относительного внутреннего радиуса изгиба для сталей Ст. 3сп и 09Г2 приведены в табл. 2. По данным табл. 2 построен график изменения удельной работы деформирования элементарного объема в зависимости от относительного внутреннего радиуса изгиба (рис. 1). На этом же графике в виде прямых линий нанесены величины удельной работы разрушения для сталей марок Ст.3сп (1) и 09Г2 (2). Пересечение кривой зависимости удельной работы деформирования от относительного внутреннего радиуса изгиба с прямой критической работы разрушения дает критическое значение относительного внутреннего радиуса изгиба.

Таблица 2 – Максимальная удельная работа деформирования

Марка стали	Значение удельной работы деформирования A , Мдж/м ³ , при r_b				
	0,1	0,25	0,5	1	2
Ст. 3сп	688	462	286	198	109
Сталь 09Г2	737	490	311	203	113

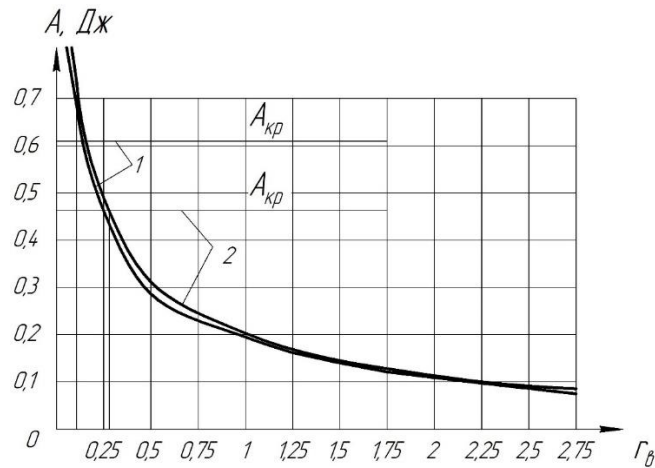


Рис. 1 – Зависимость удельной работы деформирования от относительного внутреннего радиуса изгиба: 1 – для стали Ст.3сп; 2 – для стали 09Г2

Из выражения (7) следует, что удельная работа деформирования зависит не только от радиуса, но и от угла изгиба.

Зависимость удельной работы деформирования от относительного внутреннего радиуса изгиба для угла изгиба $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ приведена в табл. 2.

Аналогичные результаты получены для различных значений угла φ_0 , в соответствии с которыми, построены графики (рис. 2 и рис. 3).

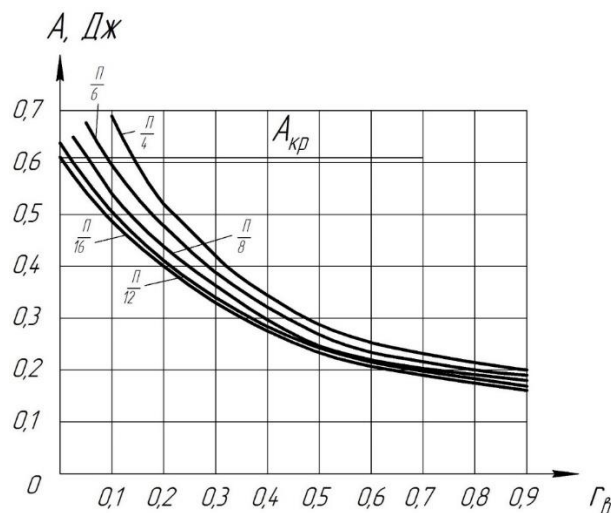


Рис. 2 – Кривые изменения удельной работы деформирования для стали Ст. 3сп при различных значениях углов изгиба

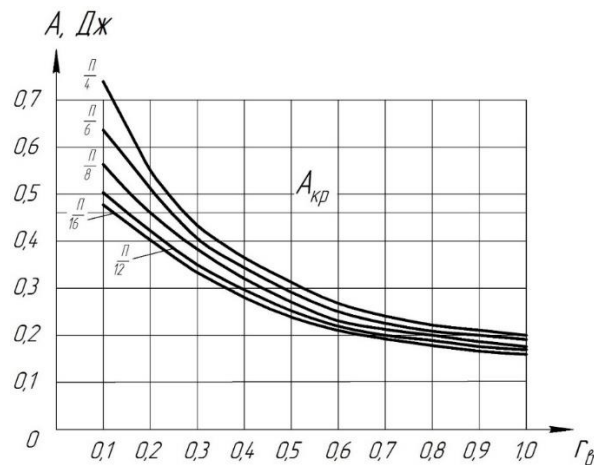


Рис. 3 – Кривые изменения удельной работы деформирования для стали 09Г2 при различных значениях углов изгиба

Из рис. 2 и рис. 3 следует, что с уменьшением угла изгиба удельная работа деформирования уменьшается. Пересечение кривых, соответствующих различным значениям угла φ_0 , с прямыми критической удельной работы разрушения дает значения критических радиусов для различных углов подгибки заготовки.

В соответствии с полученными данными построен график изменения критического радиуса разрушения в зависимости от угла места изгиба для различных марок стали. График для стали марок

Ст. 3сп и 09Г2 приведен на рис. 4. Так как все расчеты приведены в относительных величинах, радиус в конкретных случаях изгиба необходимо определять следующим образом: по заданному углу изгиба на готовом профиле с помощью графика рис. 4 можно определить критические радиусы разрушения. Так, для рядовых сталей, представителем которых является Ст. 3сп, при изгибе на 90° $r_k=0,16$, для низколегированных сталей (09Г2) при тех же условиях $r_k=0,27$.

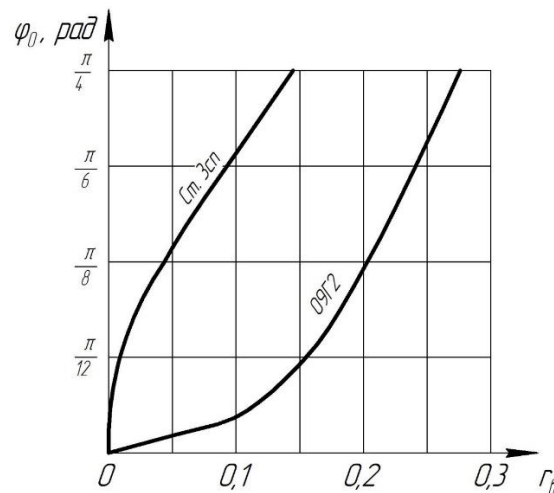


Рис. 4 – Зависимость критического радиуса разрушения от угла изгиба

Технологические радиусы изгиба отличаются от расчетных значений коэффициентом запаса прочности. Следовательно, при непрерывном процессе профилирования минимальный допустимый радиус изгиба должен определяться по зависимости

$$r_{\min} = k \cdot r_k. \quad (15)$$

Из графика (рис. 4) видно, что при малых величинах радиусов незначительное уменьшение радиуса изгиба вызывает резкое повышение удельной работы деформирования. При коэффициенте запаса прочности, равном 2, удельная работа деформирования будет значительно меньше

критической работы разрушения и будет гарантировано получение профилей без трещин.

Принимая $k=2$, при изгибе на 90° для непрерывного процесса профилирования соответственно получим минимальные допустимые радиусы изгиба:

- для рядовых сталей $r_{\min} = 2 \cdot 0,16 = 0,32$;
- для низколегированных сталей $r_{\min} = 2 \cdot 0,27 = 0,54$.

При поштучном процессе профилирования в результате разрезки ленты перед станом концы полосы получают наклепанными. Кроме того, на них могут образовываться заусенцы, которые на

переднем конце получают на наружной поверхности профиля. Все это ужесточает условия деформирования концов полосы.

Эксперименты показывают, что минимальный допустимый радиус изгиба для наклепанного металла должен быть в $1,7 \div 2$ раза больше, чем для отожженного. Изгиб заусенцами наружу также требует увеличения минимального радиуса изгиба в $1,65 \div 1,75$ раза.

Таким образом, для поштучного процесса профилирования необходимо принимать

$$r_{\min} = (2,8 \div 3,5)kr_k. \quad (16)$$

При изгибе с углом $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ радиусы соответственно будут:

- для рядовых сталей $r_{\min} = 0,9 \div 1,1$;
- для низколегированных сталей $r_{\min} = 1,5 \div 1,9$.

Выводы:

1. Методом механики сплошных сред с использованием поля скоростей перемещений определена удельная работа деформирования элементарного объема места изгиба при профилировании.

2. Установлено, что удельная работа деформирования с уменьшением радиуса и увеличением угла изгиба возрастает.

3. Из сравнения удельной работы деформирования при изгибе с критической работой разрушения получен критический радиус разрушения r_k , который при изгибе на угол $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ соответственно равен: для стали Ст. 3сп $r_k=0,16$, для стали 09Г2 $r_k=0,27$. С увеличением угла изгиба величина критического радиуса также увеличивается.

4. Технологические радиусы изгиба должны отличаться от расчетных значений критического радиуса изгиба коэффициентом запаса прочности, т.е.

$$r_{\min} = kr_k.$$

5. При поштучном профилировании, когда имеют место наклеп и заусенцы на концах полосы,

относительный минимальный внутренний радиус изгиба следует определять по формуле:

$$r_{\min} = (2,8 \div 3,5)kr_k.$$

Список литературы

1. Тришевский И.С. Калибровка валков для производства гнутых профилей проката / И.С. Тришевский, В.И. Мирошниченко, В.П. Стукалов и др. – Киев: Техника, 1980. – 168 с.
2. Тришевский И.С. Производство гнутых профилей. Оборудование и технологии. / И.С. Тришевский, А.Б. Юрченко, В.С. Марьин и др. – Москва: Металлургия, 1982. – 384 с.
3. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. – Москва: Металлургия, 1980. – 288 с.
4. Тришевский И.С. Гнутые профили проката. Справочник / И.С. Тришевский, В.И. Мирошниченко, В.П. Стукалов и др. – Москва: Металлургия, 1980. – 352 с.
5. Тришевский И.С. Производство деталей из гнутых профилей / И.С. Тришевский, В.С. Марьин, В.А. Хмель. – Киев: Техника, 1985. – 128 с.
6. Roll forming handbook / Edited by George T. Halmos. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 573 p.
7. Филимонов С.В. Интенсивное формообразование гнутых профилей / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.

References (transliterated)

1. Trishevskij I.S. Kalibrovka valkov dlya proizvodstva gnutyh profilej prokata / I.S. Trishevskij, V.I. Miroshnichenko, V.P. Stukalov i dr. – Kiev: Tehnika, 1980. – 168 p.
2. Trishevskij I.S. Proizvodstvo gnutyh profilej. Oborudovanie i tehnologii. / I.S. Trishevskij, A.B. Yurchenko, V.S. Marin i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1982. – 384 p.
3. Trishevskij I.S., Doktorov M.E. Teoreticheskie osnovy processa profilirovaniya. – Moscow: Metallurgiya, 1980. – 288 s.
4. Trishevskij I.S. Gnutye profili prokata. Spravochnik / I.S. Trishevskij, V.I. Miroshnichenko, V.P. Stukalov i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1980. – 352 s.
5. Trishevskij I.S. Proizvodstvo detalej iz gnutyh profilej / I.S. Trishevskij, V.S. Marin, V.A. Hmel. – Kiev: Tehnika, 1985. – 128 p.
6. Roll forming handbook / Edited by George T. Halmos. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 573 p.
7. Filimonov S.V. Intensivnoe formoobrazovanie gnutyh profilej / S.V. Filimonov, V.I. Filimonov. – Ulyanovsk: UlGTU, 2008. – 444 p.

Поступила (received) 11.12.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Плеснецов Юрий Александрович (Плеснецов Юрий Александрович, Plesnetsov Yuriy Aleksandrovich) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри «Комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: plesnetsov@gmail.com.

Сучков Григорій Михайлович (Сучков Григорий Михайлович, Suchkov Hrigoriy Mihailovich) – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри «Комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, e-mail: hpi.suchkov@gmail.com.

Плеснецов Сергій Юрійович (Плеснецов Сергей Юрьевич, Plesnetsov Sergey Yurievich) – кандидат технічних наук, докторант каф. КРСКД НТУ «ХПІ»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8428-5426>; e-mail: s.plesnetsov@gmail.com